

Unjuk Kerja Heat Pump Water Heater Dengan Daya Kompresor 0.25 HP

Performance Heat Pump Water Heater with Power 0.25 HP of Compressor

Untung Kurniawan ¹⁾, Maryadi ¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin Universitas Islam Assyafi'iyah Jakarta

Email : untungk58@gmail.com

ABSTRAK

Mesin pendingin yang digunakan baik untuk tujuan pendinginan dan untuk tujuan pemanasan secara bersamaan dinamakan Mesin refrigerasi hibrida (*Hybrid Refrigeration Machine*). Mesin *Heat Pump* untuk *water heater* yang dimiliki Teknik Mesin Universitas Islam As-Syafi'iyah Jakarta banyak memberikan manfaat bagi mahasiswa dan pengajar. Tujuan dari penelitian ini adalah (a)menghitung kerja kompresor persatuan massa refrigerant. (b)menghitung kalor yang dilepas oleh kondensor persatuan massa refrigerant. (c)menghitung kalor yang diserap oleh evaporator persatuan massa refrigerant. (d)menghitung beberapa formula dasar dalam teknik pendinginan seperti : Coefficient Of Performance (COP), (e)menghitung efisiensi dari mesin *Heat Pump water heater*, (f)menghitung laju aliran massa refrigerant. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam As-Syafi'iyah. Dari hasil pengujian, mesin *Heat Pump* dapat bekerja dengan baik, dengan beban air 7 liter, mesin *Heat Pump* dengan daya $\frac{1}{4}$ HP dan menggunakan fluida refrigerant R134a mampu mendapatkan suhu kerja kondensor sebesar 67°C , dan suhu kerja evaporator -03°C . Kerja kompresor persatuan massa refrigerant (Win) terendah sebesar 25 kJ/kg dan tertinggi 62 kJ/kg. Energi kalor persatuan massa refrigerant yang dilepaskan oleh kondensor (Qout) terendah sebesar 198 kJ/kg, tertinggi sebesar 205 kJ/kg. Energi kalor persatuan massa refrigerant yang diserap evaporator (Qin) terendah sebesar 136 kJ/kg, tertinggi sebesar 180 kJ/kg. Coefficient Of Performance actual terendah sebesar 2,19, tertinggi sebesar 7,2, Coefficient Of Performance ideal terendah sebesar 5,90, tertinggi sebesar 21,31, Nilai efisiensi Mesin Heat Pump water heater terendah 33%, tertinggi sebesar 43%, Laju aliran massa refrigerant terendah sebesar 0,003 kg/detik, tertinggi sebesar 0,00744 kg/detik.

Kata Kunci : *Heat Pump, refrigeran 134a, Coefficient Of Performance*

ABSTRACT

A cooling machine that is used both for cooling purposes and for heating purposes is simultaneously called a Hybrid Refrigeration Machine. The Heat Pump engine for water heater owned by Mechanical Engineering of the Islamic University of As-Syafi'iyah Jakarta has many benefits for students and teachers. The purpose of this research is (a) to calculate the work of refrigerant mass unity compressor. (b) calculate the heat released by the refrigerant mass unity condenser. (c) calculate the heat absorbed by the refrigerant mass unity evaporator. (d) calculate some basic formulas in cooling techniques such as: Coefficient Of Performance (COP), (e) calculate the efficiency of the engine Heat Pump water heater, (f) calculate the rate of mass flow of refrigerant. The study was conducted at the Mechanical Engineering Laboratory of the Islamic University of As-Syafi'iyah.

From the test results, the Heat Pump engine can work well, with a 7 liter water load, a Heat Pump engine with $\frac{1}{4}$ HP power and using R134a refrigerant fluid is able to get a condenser working temperature of 67°C , and an evaporator working temperature of -03°C . The lowest refrigerant mass (Win) compressor work is 25 kJ / kg and the highest is 62 kJ / kg. The lowest heating energy of the refrigerant mass released by the condenser (Qout) is 198 kJ / kg, the highest is 205 kJ / kg. The lowest heating energy of the refrigerant mass absorbed by the evaporator (Qin) is 136 kJ / kg, the highest is 180 kJ / kg. Actual coefficient of performance lowest is 2.19, highest is 7.2, ideal coefficient of performance lowest is 5.90, highest is 21.31, engine efficiency value Heat Pump water heater lowest 33%, highest 43%, flow rate the lowest refrigerant mass is 0.003 kg / sec, the highest is 0.00744 kg / sec.

Keywords: *Heat Pump, refrigerant 134a, Coefficient Of Performance*

1. PENDAHULUAN

2. Latar Belakang

Kemajuan Teknologi Sistem Refrigerasi sudah cukup banyak aplikasinya yang sangat bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan

manusia. Saat ini untuk Negara-Negara yang memiliki empat musim biasanya sistem refrigerasi tidak hanya memanfaatkan

pendinginnya saja, akan tetapi di manfaatkan untuk proses pemanasan, Penamaan Mesin Refrigerasi tergantung pada tujuan penggunaannya. Mesin Refrigerasi yang di gunakan untuk tujuan pendinginan atau penyejuk ruangan dinamakan Mesin Refrigerasi atau Pendingin (*Refrigerator Machine*)⁽¹⁾, sedangkan Mesin pendingin yang di gunakan untuk tujuan pemanasan sebagai Pemanas air atau pemanas ruangan di namakan mesin pompa kalor (*Heat Pump*)⁽²⁾. Mesin pendingin yang di gunakan baik untuk tujuan pendinginan dan untuk tujuan pemanasan secara bersamaan di namakan Mesin Refrigerasi hibrida (*Hybrid Refrigeration Machine*)⁽³⁾.

Sebagai penunjang proses Praktikum Prestasi Mesin di Universitas Islam As-Syafi'iyah terdapat salah satu alat uji, yaitu *Heat Pump* dengan daya kompresor 1/2 HP pada Laboratorium Konversi Energi yang berdasarkan fakta sudah tidak dapat di operasikan untuk kegiatan Praktikum Prestasi Mesin.

Berdasarkan Informasi yang di peroleh kompresor pada alat uji sudah tidak layak di gunakan. Dari permasalahan tersebut kami akan memperbaiki alat Uji *Heat Pump* tersebut dengan menggunakan daya kompresor yang berbeda, yaitu 1/4 HP. Dan sekaligus sebagai bahan Tugas Akhir (Skripsi) untuk mencapai Gelar Sarjana Teknik, dengan Harapan agar alat Uji *Heat Pump* bisa kembali di Operasikan untuk Kegiatan Praktikum Prestasi Mesin di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin. sehingga Mahasiswa mampu mengaplikasikan Ilmu dalam bidang Prestasi Mesin.

3. Perumusan Masalah

Mesin *Heat Pump* untuk *Water Heater* yang dimiliki Teknik Mesin Universitas Islam As-Syafi'iyah Jakarta banyak memberikan manfaat bagi mahasiswa dan pengajar. Untuk itulah diperlukan suatu penelitian yang dapat mengetahui kinerja mesin tersebut, agar dapat digunakan untuk praktek Mata Kuliah Prestasi Mesin yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman tentang refrigerasi yang dapat mendorong mahasiswa untuk mencari penemuan baru sekaligus dapat melakukan perawatannya.

Berdasarkan hal diatas, permasalahan yang dapat dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Menghitung kerja kompresor persatuan massa refrigerant.
2. Menghitung energi kalor yang diserap evaporator persatuan massa refrigerant.
3. Menghitung energi kalor yang dilepas kondensor persatuan massa refrigerant
4. Mengetahui nilai *Coefficient Of Performance* mesin *Heat Pump* dengan daya 1/4 HP yang dimiliki oleh Teknik Mesin Universitas Islam As-Syafi'iyah.

4. Batasan Masalah

Penulis membatasi Pembahasan Masalah didalam Tugas Akhir ini antara lain sebagai berikut :

- a. Cara kerja Alat uji *Heat Pump water heater*.
- b. Kompresor dengan daya 1/4 HP, jenis kompresor *hermatic*.
- c. Kondensor dan evaporator yang digunakan sama seperti kondensor dan evaporator yang dipergunakan pada mesin pendingin kulkas dua pintu berdaya 1/4 HP.
- d. Panjang pipa kapiler 120 cm dan diameter 0,028 inci.
- e. Beban pendinginan dan pemanasan yang digunakan adalah air dengan masing-masing tabung berisi 7 Liter.
- f. Refrigerant yang dipergunakan pada alat *Heat Pump* R134a.
- g. Perhitungan dari percobaan alat uji *Heat Pump*.

5. Tujuan

Tujuan dari Penelitian ini adalah :

- Untuk memahami prinsip kerja dari mesin *Heat Pump*.
- Untuk mengetahui fungsi dari komponen utama *Heat Pump*.
- Untuk mengetahui kerja kompresor, refrigerant yang dilepas kondensor, refrigerant yang diserap evaporator, COP_{aktual} , COP_{ideal} , efisiensi mesin *Heat Pump*, dan laju aliran massa refrigerant.
- Untuk mengetahui hubungan antara tekanan danentalpi.

6. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Dasar dan Ruang Lingkup Teknik Pendingin

Mesin refrigerasi atau mesin pendingin adalah mesin yang dapat menimbulkan efek refrigerasi atau efek pendinginan, sedangkan refrigerant adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses memindahkan panas dari suatu produk

atau ruang yang didinginkan ke lingkungannya⁽⁴⁾. Sistem pendinginan merupakan dasar dari penerapan teori ilmu perpindahan panas dan termodinamika yang mencakup pertukaran energi dan proses termal⁽⁵⁾. Prinsip dasar kerja mesin pendingin adalah penyerapan panas oleh evaporator, pemompaan panas oleh kompresor, pelepasan panas oleh kondensor, serta proses ekspansi⁽⁶⁾.

Mesin Refrigerasi merupakan sebuah mesin yang secara Termodinamika dapat memindahkan energi dari area bertemperatur rendah ke area bertemperatur tinggi atau proses perpindahan kalor, proses ini terjadi antara media penyerap kalor atau pelepas kalor dengan lingkungan. Media ini biasanya disebut

Refrigerant⁽¹³⁾. Selama proses terjadi, *refrigerant* mengalami perubahan fase, yaitu dari fase cair ke uap (proses penguapan) dan dari fase uap kembali ke fase cair (proses pengembunan). Pada proses penguapan, *refrigerant* membutuhkan sejumlah kalor yang diambil dari lingkungan sehingga suhu lingkungan menjadi lebih dingin. Dan pada proses pengembunan, *refrigerant* melepas sejumlah kalor ke lingkungan sehingga temperatur naik atau menjadi lebih hangat.

Kedua proses itu terjadi pada tekanan dan temperatur tertentu. Proses penguapan terjadi pada tekanan rendah, yang mengakibatkan titik uap dari cairan uap dari *refrigerant* turun jauh dibawah suhu lingkungan sehingga penguapan cairan *refrigerant* dapat terjadi. Sedangkan pengembunan terjadi pada tekanan dan temperatur tinggi, yang mengakibatkan titik embun dari *refrigerant* naik melebihi suhu lingkungan sehingga pengembunan uap itu dapat terjadi.

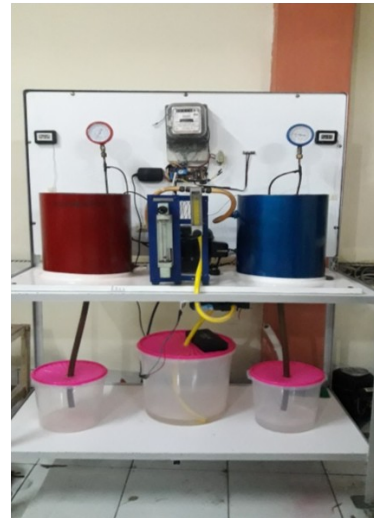
dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pada unit *Heat Pump* terdapat alat yang berfungsi sebagai penguapan cairan *refrigerant* evaporator, dan untuk pengembunan uap *refrigerant* disebut kondensor. Sedangkan untuk menurunkan tekanan cairan *refrigerant* disebut alat ekspansi dan penambah tekanan uap *refrigerant* yang disebut kompresor.

2.2 Prinsip Kerja Heat Pump Water Heater

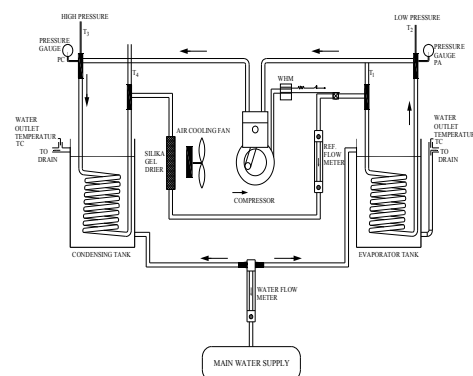
Heat Pump Water Heater cara kerjanya tidak berbeda dengan *Air Conditioning Water Heater* (ACWH), hanya saja di *Heat Pump* semua sudah menjadi satu kesatuan yang didesain untuk air panas, sedangkan ACWH memanfaatkan AC yang sudah ada, sehingga harus kita modifikasi untuk bisa disalurkan ke tangki penampungan. *Heat Pump* atau pompa kalor merupakan suatu alat yang bisa mendinginkan dan memanaskan, dimana fungsi evaporator sebagai pendinginan bisa diubah menjadi pemanasan sebagai fungsi kondensor dengan menggunakan reversing valve. Sistem yang memanfaatkan kalor yang dilepaskan dikondensor untuk pemanasan sehingga tidak dibuang ke lingkungan.



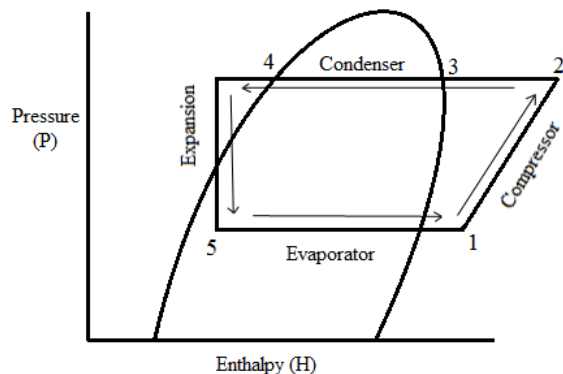
Gambar 1. Mesin *Heat Pump Water Heater* sebelum perbaikan



Gambar 2. Mesin *Heat Pump Water Heater* setelah perbaikan



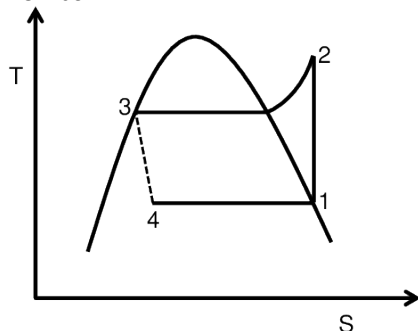
Gambar 3. skema system kerja *heat pump water heater*



Gambar 4. Diagram tekanan-entalpi

Pada proses 1-2 adalah proses kenaikan tekanan dari *refrigerant* yang sudah berupa uap, diikuti dengan kenaikan temperatur dan disebut proses kompresi. Proses penurunan suhu dari gas panas lanjut menjadi gas jenuh terjadi pada tahap (proses 2-3). *Refrigerant* mengalami penurunan suhu pada tekanan tetap. Hal ini disebabkan adanya kalor yang mengalir ke lingkungan, karena suhu *refrigerant* lebih tinggi dari suhu lingkungan. Proses kondensasi terjadi pada tahap (proses 3-4). Pada proses ini gas jenuh mengalami perubahan fase dari gas jenuh menjadi cair jenuh. Proses berlangsung pada suhu dan tekanan tetap. Pada proses ini terjadi aliran kalor dari kondensor ke lingkungan karena suhu kondensor lebih tinggi dari suhu udara lingkungan. dari kondensor *refrigerant* yang sudah berubah menjadi *refrigerant* cair melewati katup ekspansi untuk menurunkan tekanannya.

Dengan turunnya tekanan, temperatur juga akan turun (proses 4-5), sehingga suhu dari *refrigerant* lebih rendah dari temperatur lingkungan. Pada tahap ini fasa berubah menjadi fase campuran : gas dan cair. Kemudian masuk ke evaporator, di evaporator *refrigerant* menguap dengan mengambil panas dari ruangan yang di dinginkan (proses 5-1). Demikianlah proses ini terjadi secara berulang kembali.



Gambar 5. Diagram T-s

2.3 Siklus Refrigerant

Fluida yang digunakan pada unit pengujian *Heat Pump* sebagai medium kalor (*refrigerant*) adalah Tetrafluoroetana, CH_2FCF_3 (R-134a), HFC-134a ataupun sering disebut dengan freon 134a pada kondisi uap panas lanjut (titik 1), *refrigerant* dihisap kompresor, dinaikan tekanannya (P_1), dan dibuang melalui pipa tembaga yang diisolasi karet menuju plat nikel, coil tembaga yang terendam dalam air pada tangki kondensor (warna merah) yang berfungsi untuk mengembunkan uap *refrigerant*, pada tekanan P_1 dan temperatur T_2 (titik 2). Perubahan fasa *refrigerant* dari uap ke cair berlangsung pada tekanan tetap dan penurunan temperatur dari T_2 ke T_3 . *Refrigerant* cair

dengan tekanan P_1 dan suhu T_3 (titik 3) dialirkan ke tangki evaporator (warna biru) dengan terlebih dahulu dilewatkan pada silica gel yang berfungsi menyerap uap air yang terbawa didalam sistem. Sedangkan pengaturan massa aliran *refrigerant* cair dilakukan dengan *refrigerantflow* meter. Kemudian cairan *refrigerant* berekspansi pada katup ekspansi, tekanan konstan sehingga tekanannya turun (P_4) dan mulai mendidih pada temperatur uap basah T_4 titik 4.

Pada coil yang terendam dalam aliran air pada tangki evaporator, *refrigerant* mengalami proses penguapan dengan kalor penguapan diserap dari aliran air tersebut. Proses penguapan terus berlangsung sehingga uap *refrigerant* keluar pada temperatur panas lanjut T_1 dan tekanan P_4 . Uap *refrigerant* panas lanjut kembali mengalir ke kompresor.

2.4 Siklus Air

Air yang menjalani siklus terbuka dialirkan terus menerus oleh pompa dari bak penampung air dengan suhu T_s ke dalam tangki evaporator dan kondensor. Besar laju massa aliran air ke dalam kedua tangki tersebut dapat diatur sesuai dengan kebutuhan percobaan melalui penunjukan pada skala dari *water flow meter*, pengamatan lain dilakukan terhadap air masuk dan temperatur air pada kedua tangki. Setelah melalui kedua tangki tersebut, air dibuang melalui pipa pembuangan masing-masing tangki.

Pada tangki kondensor aliran air berfungsi untuk menerima sebagian kalor dari uap *refrigerant* sehingga didapat temperatur yang lebih tinggi (T_H). Demikian pula sebaliknya pada tangki evaporator, aliran air berfungsi untuk melepaskan kalornya untuk menguapkan *refrigerant* sehingga didapat suhu air yang lebih rendah.

2.5 Parameter Kinerja Alat Uji *Heat Pump Water Heater*

Dengan bantuan entalpi-tekanan, entalpi atau nilai (h) dalam siklus kompresi uap dapat diketahui, sehingga kerja kompresor, energi kalor yang diserap evaporator, energi kalor yang dikeluarkan kondensor, *Coefficient Of Performance* (COP) actual, *Coefficient Of Performance* (COP) ideal, Efisiensi mesin *Heat Pump water heater* dapat diketahui.

1. Kerja kompresor (W_{in})

Kerja kompresor persatuan massa *refrigerant* merupakan perubahan entalpi dari titik 1 ke 2 (Lihat Gambar 2.3), yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_i = h_2 - h_1, (kJ/kg) (1)$$

Keterangan :

W_{in} : kerja kompresor persatuan massa refrigerant, (kJ/kg)
 h_2 : nilai entalpi refrigerant saat keluar kompresor, (kJ/kg)
 h_1 : nilai entalpi refrigerant saat masuk kompresor, (kJ/kg)

2. Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out})
 Energi kalor persatuan massa refrigerant yang dilepas oleh kondensor merupakan perubahan entalpi pada titik 2 ke 3 (Lihat Gambar 2.3), perubahan tersebut dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{out} = h_2 - h_3, (kJ/kg) \quad (2)$$

Keterangan :

Q_{out} : energi kalor yang dilepaskan kondensor persatuan massa refrigerant, (kJ/kg)
 h_2 : nilai entalpi refrigerant saat keluar kompresor, (kJ/kg)
 h_3 : nilai entalpi refrigerant saat keluar kondensor, (kJ/kg)

3. Energi kalor yang diserap oleh evaporator (Q_{in})
 Energi kalor persatuan massa refrigerant yang diserap oleh evaporator merupakan perubahan entalpi pada titik 4 ke 1 (Lihat Gambar 2.3), perubahan entalpi tersebut dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{in} = h_1 - h_4, (kJ/kg) \quad (3)$$

Keterangan :

Q_{in} : energi kalor yang diserap oleh evaporator persatuan massa refrigerant, (kJ/kg)
 h_1 : nilai entalpi refrigerant saat keluar evaporator atau sama dengan nilai entalpi pada saat masuk ke kompresor, (kJ/kg)
 h_4 : nilai entalpi refrigerant saat masuk ke evaporator atau sama dengan nilai entalpi saat masuk pipa kapiler. Karena proses pada pipa kapiler berlangsung pada tekanan konstan maka nilai $h_4 = h_3$, (kJ/kg)

4. *Coefficient Of Performance* (COP_{aktual})
Coefficient Of Performance siklus kompresi uap standar dapat dihitung dengan persamaan :

$$COP_{aktual} = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \times \frac{kJ/kg}{kJ/kg} \quad (4)$$

Keterangan :

COP_{aktual} : *Coefficient Of Performance* aktual mesin *Heat Pump water heater*
 Q_{in} : energi kalor yang diserap evaporator persatuan massa refrigerant, (kJ/kg)
 W_{in} : kerja kompresor persatuan massa refrigerant

5. *Coefficient Of Performance* (COP_{ideal})
Coefficient Of Performance ideal pada kompresi uap dapat dihitung dengan persamaan :

$$COP_{ideal} = \frac{T_c}{T_h - T_c} \quad (5)$$

Keterangan :

COP_{ideal} : *Coefficient Of Performance* ideal mesin *Heat Pump water heater*

T_c : temperatur air pada evaporator, (K)
 T_h : temperatur air pada kondensor, (K)

6. Efisiensi Mesin *Heat Pump Water Heater*
 Efisiensi Mesin *Heat Pump Water Heater* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Efisiensi = \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}} \quad (6)$$

Keterangan :

COP_{ideal} : *Coefficient Of Performance* ideal mesin *Heat Pump water heater*

COP_{aktual} : *Coefficient Of Performance* aktual mesin *Heat Pump water heater*

7. Laju aliran massa refrigerant
 Laju aliran massa refrigerant dapat dihitung dengan persamaan :

$$m = \frac{P}{W_{in}}, kg/detik \quad (7)$$

Keterangan :

m : laju aliran massa refrigerant, (kg/detik)

P : daya kompresor

W_{in} : kerja kompresor persatuan massa refrigerant, (kJ/kg)

Dimana $P = 1/4 \text{ HP}$

$$= 186 \text{ watt} = 0,186 \text{ kW}$$

7. METODE PENELITIAN

1. Alat ukur yang digunakan :

✓ Pressure gauge dua buah, untuk kondensor yang berwarna merah dan untuk evaporator berwarna biru. Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan yang masuk pada evaporator dan kondensor.



Gambar 6. pressure gauge pada tabung evaporator



Gambar 7. pressure gavage pada tabung kondensor

- ✓ Temperatur digital 6 pcs untuk mengukur T_c , T_h , suhu refrigerant masuk kompresor (t_1), suhu refrigerant keluar kompresor (t_2), suhu refrigerant setelah melewati kondensor (t_3), suhu refrigerant setelah melewati katup ekspansi (t_4).



Gambar 8. Termometer digital

- ✓ Untuk mencari nilai s digunakan *stop watch* dari satu kali putaran piringan *watt-hour meter*.

2. Jalanya Penelitian

I. Tahap Persiapan

- ✓ Periksa air pada bak penampung (jika kurang ditambah), dan pastikan semua thermometer berfungsi dengan baik.
- ✓ Pastikan pressure gauge (low pressure dan high pressure itu tekananya sama) dan sudah di kalibrasi.

II. Langkah-langkah Pengujian

- ✓ Pasang kabel penghubung pompa dengan adaptor, dan pasang kabelpower kompresor pada sumber listrik yang tersedia.
- ✓ Hidupkanlah motor penggerak kompresor dengan menggunakan remot control yang tersedia. Dan hidupkan pompa dengan cara tekan tombol switch yang ada pada adaptor.
- ✓ Atur laju kecepatan air masuk ke tangki evaporator dan tangki kondensor sesuai

yang telah ditentukan dengan cara membukakan pada *water flow meter*.

- ✓ Setelah air sudah terisi penuh, matikan pompa dengan cara tekan kembali tombol switch yang ada pada adaptor.
- ✓ Buka katup pada *refrigerant flow meter* hingga penuh dengan bersamaan hidupkan stopwatch untuk membantu pengambilan data.
- ✓ Biarkanlah unit percobaan bekerja selama waktu yang telah ditentukan dan catat temperature t_1, t_2, t_3 , dan t_4 , dengan waktu yang bersamaan catat juga p_1 (low pressure) dan p_2 (high pressure) serta catat juga temperature air cool dan hot (t_c dan t_h).
- ✓ Catat kembali pada menit berikutnya yang telah ditentukan untuk mendapatkan data yang bervariasi.

8. HASIL DAN PEMBAHASAN

- ❖ Nilai suhu dan tekanan pada siklus kerja *Heat Pump* :

Dari penelitian diperoleh data suhu refrigerant setelah melewati katup ekspansi (t_1), suhu refrigerant masuk kompresor (t_2), suhu refrigerant keluar kompresor (t_3), suhu refrigerant setelah melewati kondensor (t_4). tekanan refrigerant masuk kompresor (p_1) dan tekanan refrigerant keluar kompresor (p_2), sesuai dengan skematik yang digambarkan (Gambar 3.).

Tabel 4.1 Nilai suhu refrigerant setelah melewati katup ekspansi (t_1), suhu refrigerant masuk kompresor (t_2), suhu refrigerant keluar kompresor (t_3), suhu refrigerant setelah melewati kondensor (t_4), tekanan refrigerant masuk kompresor (p_1) dan tekanan refrigerant keluar kompresor (p_2).

N	Waktu	t_c	T_c (K)	t_h	T_h (K)
O	(menit)	(°C)		(°C)	
1	15	21	294,15	34,8	307,95
2	30	12	285,15	42	315,15
3	45	7,5	280,65	49,3	322,45
4	60	8,2	281,35	53,3	326,45
5	75	8	281,15	55,6	328,75

Tabel 4.2 Temperatur air pada tangki evaporator dan kondensor yang didapat dari waktu ke waktu

❖ Nilai entalpi

Hasil entalpi yang didapat dari diagram P-h disajikan pada tabel 4.3 berikut ini.

❖ Perhitungan

1. Perhitungan kerja kompresor dilakukan dengan menggunakan persamaan:

NO	Waktu (m)	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	Q_{in} (kJ/kg)
1	15	425	245	180
2	30	420	256	164
3	45	407	263	144
4	60	400	264	136
5	75	402	265	137

$$W_c = h_2 - h_1, kJ/kg$$

Contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit ke 60.

$$W_{in} = 462 - 400 = 62 \text{ kJ/kg}$$

hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan dalam table 4.4.

Tabel 4.3 kerja kompresor persatuan massa refrigerant (Win)

N O	Waktu (menit)	h_2 (kJ/kg)	h_1 (kJ/kg)	W_{in} (kJ/kg)
1	15	450	425	25
2	30	460	420	40
3	45	461	407	54
4	60	462	400	62
5	75	463	402	61

2. Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out}) dihitung dengan persamaan:

$$Q_{out} = h_2 - h_3, (kJ/kg)$$

contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit 60.

$$Q_{out} = 462 - 264 = 198 (kJ/kg)$$

Tabel 4.5 Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out})

N O	Waktu (m)	T_c (K)	T_h (K)	$T_h - T_c$ (K)	COP_{ideal}
1	15	294,15	307,95	13,8	21,31
2	30	285,15	315,15	30	9,50
3	45	280,65	322,45	41,8	6,71
4	60	281,35	326,45	45,1	6,23
5	75	281,15	328,75	47,6	5,90

N O	Waktu (menit)	t_c (°C)	T_c (K)	t_h (°C)	T_h (K)
1	15	21	294,15	34,8	307,95
2	30	12	285,15	42	315,15
3	45	7,5	280,65	49,3	322,45
4	60	8,2	281,35	53,3	326,45
5	75	8	281,15	55,6	328,75

3. Energi kalor persatuan massa refrigerant R134a yang diserap oleh evaporator (Q_{in}).

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan : $Q_{in} = h_1 - h_4, kJ/kg$.

contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit 60.

$$Q_{in} = 400 - 264 = 136 \text{ kJ/kg}$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan pada tabel 4.6

Tabel 4.4 Energi kalor persatuan massa refrigerant R134a yang diserap oleh evaporator

4. Nilai *Coefficient Of Performance* (COP_{aktual})
Perhitungan *Coefficient Of Performance* mesin *Heat Pump* dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$COP_{aktual} = \frac{(Q_{in})}{(W_{in})} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \times \frac{(kJ/kg)}{(kJ/kg)} = i$$

Contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit ke 60

$$COP_{aktual} = \frac{136}{62} = 2,19$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan pada tabel 4.7.

Tabel 4.5 hasil perhitungan *Coefficient Of Performance* (COP_{aktual})

NO	Waktu (m)	Q_{in} (kJ/kg)	W_{in} (kJ/kg)	COP_{aktual}
1	15	180	25	7,2
2	30	164	40	4,1
3	45	144	54	2,66
4	60	136	62	2,19
5	75	137	61	2,24

5. Nilai *Coefficient Of Performance* (COP_{ideal})
Perhitungan *Coefficient Of Performance* mesin *Heat Pump* dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$COP_{ideal} = \frac{T_c}{T_h - T_c}$$

Contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit ke 60.

$$COP_{ideal} = \frac{281,35}{362,45 - 281,35} = 6,23$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan pada tabel 4.8 berikut ini.

N O	Waktu (m)	P (kW)	W_{in} (kJ/kg)	m (kg/detik)	6. N
1	15	0,186	25	0,00744	
2	30	0,186	40	0,00465	
3	45	0,186	54	0,00344	
4	60	0,186	62	0,003	
5	75	0,186	61	0,00304	

ilai efisiensi mesin *Heat Pump* (η)

Perhitungan efisiensi mesin *Heat Pump* dengan menggunakan persamaan :

$$Efisiensi = \frac{COP_{aktual}}{COP_{ideal}}$$

Contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit ke 60.

$$Efisiensi = \frac{2,19}{6,23} = 35\%$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan pada tabel 4.9.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi mesin *Heat Pump*

NO	Waktu (menit)	COP_{aktual}	COP_{ideal}	Efisiensi η (%)	7. N
1	15	7,2	21,31	33	
2	30	4,1	9,50	43	
3	45	2,66	6,71	39	
4	60	2,19	6,23	35	
5	75	2,24	5,90	37	

ilai Laju Aliran Massa Refrigerant (m)

Perhitungan laju aliran massa refrigerant dilakukan dengan menggunakan persamaan :

NO	Waktu (m)	h_2 (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	Q_{out} (kJ/kg)
1	15	450	245	205
2	30	460	256	204
3	45	461	263	198
4	60	462	264	198
5	75	463	265	198

$$m = \frac{P}{W_c}, \text{ kg/detik.}$$

contoh perhitungan dilakukan untuk data pada menit ke 60.

$$m = \frac{0,186}{62} = 0,003 \text{ kg/detik.}$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan disajikan pada tabel 4.10.

9. KESIMPULAN

Penelitian Mesin *Heat Pump Water Heater* memberikan hasil :

- Heat Pump water heater* hasil perbaikan dapat bekerja dengan baik, mampu mendapatkan suhu kerja kondensor sebesar 67°C dan suhu kerja evaporator -03°C.
- Kerja kompresor persatuan massa refrigerant (W_{in}) terendah sebesar 25 kJ/kg dan tertinggi sebesar 62 kJ/kg.
- Energiklor persatuan massa refrigerant yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out}) terendah sebesar 198 kJ/kg, tertinggi sebesar 205 kJ/kg.
- Energy kalor persatuan massa refrigerant yang diserap oleh evaporator (Q_{in}) terendah sebesar 136 kJ/kg, tertinggi sebesar 180 kJ/kg.
- Coefficient Of Performance* COP_{aktual} terendah sebesar 2,19, tertinggi sebesar 7,2.
- Coefficient Of Performance* COP_{ideal} terendah sebesar 5,90, tertinggi sebesar 21,31.
- Nilai efisiensi Mesin *Heat Pump water heater* terendah 33%, dan tertinggi sebesar 43%.
- Laju aliran massa refrigerant terendah 0,003, tertinggi sebesar 0,00744.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, Himsar., 2001. Perancangan dan Simulasi Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida dengan Refrigeran HCR-12 sebagai Pengganti R-12 yang sekaligus bertindak sebagai Mesin Refrigerasi pada Lemari Pendingin dan Pompa Kalor pada Lemari Pengering, Tesis Pascasarjana, Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana ITB.
- ASHRAE Hand Book 1985 Fundamental, "American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.", Atlanta.

3. Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., 2011. *Thermodynamics An Engineering Approach, 7th Edition, Mc Graw Hill Companies*, New York.
4. Dosen Ir. Syahril Isnaldi ST, ME. 2018. Diklat Sistem dan Instalasi Pendingin. Universitas Islam As-Syafi'iyah, Jakarta.
5. Ilyas S., 1993. Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan, Jilid 1 Teknik Pendinginan Ikan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Jakarta.
6. Kern, D.Q., "Process Heat Transfer" *International Student Edition, Mc Graw Hill Kogakusha, Ltd.*, New York.
7. Mesin Refrigerasi. <https://abdulelektro.blogspot.com/2019/04/mesin-refrigerasi.html>. 2019.
8. Refrigerant. <https://cvastro.com/beda-refrigerant-freon-r22-dan-r134a-dan-hidrokarbon.htm>. 2019.
9. Sistem Refrigerasi dan Saluran Udara. <http://hima-me.ppns.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/Refrigeration.pdf>. 2016.
10. Stoecker, F. Willbert., 1996. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Penerbit Erlangga, Jakarta.
11. Sularso, 1991. Pompa Kompresor. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
12. Sumanto, 1989. Dasar-dasar Mesin Pendingin, Yogyakarta
13. Wilbert F. Stoecker, 1958. *Refrigerant and Air Conditioning, Mc Graw Hill Book Company*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
14. Wiratanto Arismunandar, Heizo Saito, 1995. Penyegaran Udara. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
15. Wuryani, Sri, 1995. Perpindahan Panas. Bandung. Penerbit Pusat Pengembang Pendidikan Politeknik.